

## 超音速における飛翔体の空力解析

報告書番号：R21JACA20

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18257/>

### ● 責任者

北村圭一, 横浜国立大学

### ● 問い合わせ先

筒井 史也(横浜国立大学大学院)(tsutsui-fumiya-rt@ynu.jp)

### ● メンバ

北村 圭一, 筒井 史也, 安村 祐哉

### ● 事業概要

主要な宇宙輸送手段であるロケットや、惑星探査ミッションにおける有力な減速手段である超音速パラシュートなどの飛翔体は、いずれも超音速で飛行する。これらの安全な飛行を妨げる要因として、ロケット表面の突起物による複雑な渦構造の形成や、衝撃波振動による超音速パラシュートの変形(Area oscillation)が挙げられる。これらの流体现象が飛翔体の空力特性に及ぼす影響や、その詳細なメカニズムは未だ不明なところが多く、また、風洞試験のみによって得られる知見にも限りがある。そこで、本事業では突起を有するロケットや超音速パラシュート形状を対象とした超音速域における数値解析を実施し、それらの詳細な空力データを取得する。

### ● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究においては、突起付き細長物体の突起周囲に生じる衝撃波や、馬蹄渦などの複雑な渦構造、更には DGB 型超音速パラシュート周りの複雑な流れ場を正確に捉える必要があり、高解像度の計算格子を用いた数値計算が必要となることから、膨大な計算コストを要する。そのため、短時間で大規模計算が可能であるスーパーコンピュータを用いる必要がある。

### ● 今年度の成果

- ・ 複数の突起を有する細長物体の空力特性

細長比 8.9 の細長物体に対し、2 つの突起物を機体前方の風下側と、機体中央部の様々な周方向位置に装着して、主流マッハ数 1.5, 迎角  $AoA = 15^\circ$  として数値計算を実施した。その結果、図 1b のように、機体中央の突起が機体水平面上に装着された場合(F45\_M90), 前方突起のみの場合(図 1a)と比較して 9.0%横力が増大することが分かった。これは、機体中央部の突起から生じる後流渦(図 1b の  $V_{MP}$ 。

w)の渦中心に、左舷側(突起がある側)表面付近の流体が引き寄せられる(図2参照)ことで、左舷側の流れが減速し、前方突起のみの場合(F45)よりも高圧となるためである。

・超音速パラシュートの空力計算

図3に示すような開傘初期のパラシュート形状に対し、一様流マッハ数  $M = 2.0$  として数値解析を行い、開口部が与える影響を調査した。パラシュート前端付近に、ギャップと呼ばれる開口部(図3参照)を付与することで、ギャップを通過する流れが誘起される。それにより、パラシュート内部の体積流量が減少し、内部の圧力変動が減少する。一方、パラシュート外部の圧力変動は増加する。これは、ギャップからの流れにより、サイドジェット空力干渉が生じたためである。

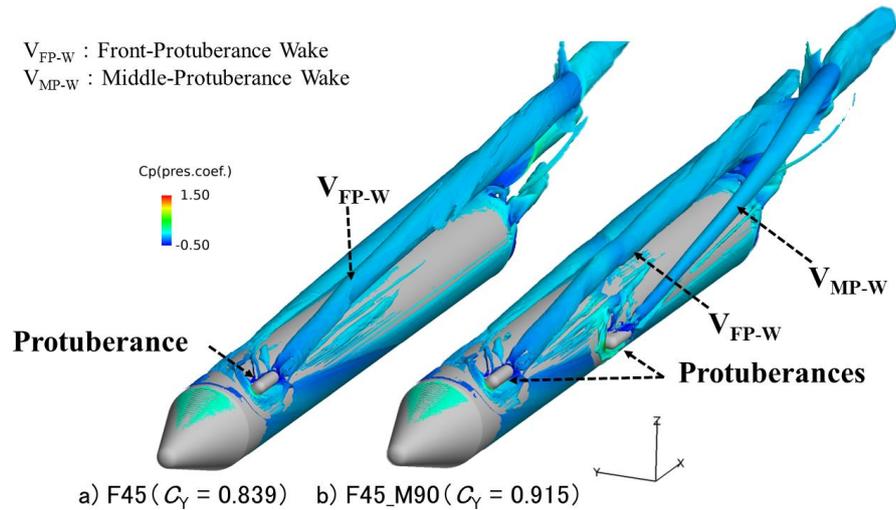


図1: Q 値等値面の可視化結果(圧力係数  $C_p$  で色付け)

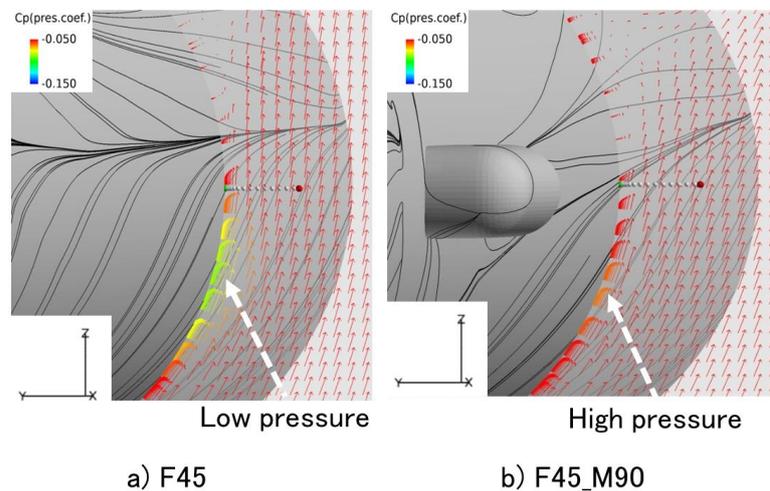


図2: 機体後方断面における速度ベクトルの可視化結果(機体全長の80%断面,  $C_p$  で色付け)



図 3: 解析モデル

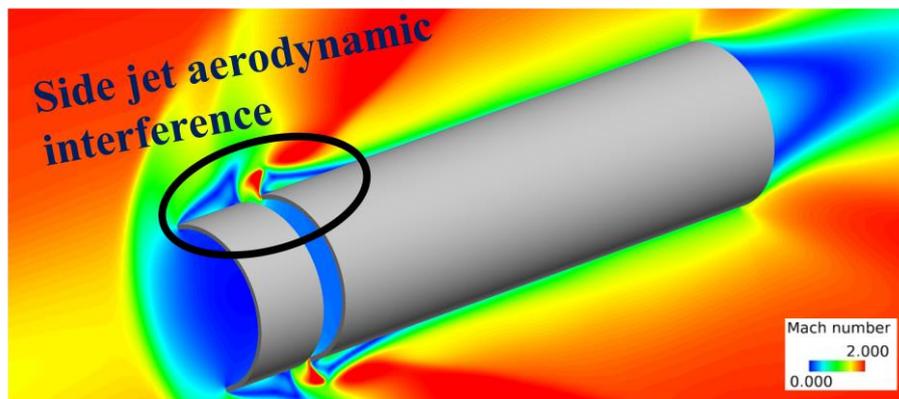


図 4: ギャップ付近の流れ場

## ● 成果の公表

-口頭発表

1)筒井 史也, 北村圭一(横国大院), 野中 聡(JAXA), "突起を有する細長物体の空力解析における乱流モデルの影響,"第 53 回流体力学講演会/第 39 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム (ANSS), 1A11(オンライン, 2021 年 06 月 30 日).

2)安村 祐哉, 北村圭一(横国大院), "開傘初期を模擬した超音速パラシュートの空力計算:ギャップおよびカプセル距離の影響,"日本機械学会 2021 年度年次大会, S191 大気突入・減速技術 [S191-01](オンライン, 2021 年 09 月 07 日).

3)Tsutsui, F., Kitamura, K., and Nonaka, S.: Effects of RANS Turbulence Models on Aerodynamics of Slender-Bodied Launch Vehicles with Protuberance, P00155, 12th Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2021), Jeju, South Korea & Virtual, Nov-15-2021.

4)筒井史也, 本木翔吾, 安村祐哉, 北村圭一(横国大), 野中 聡(JAXA), "非対称に配置された複数突起を有する細長物体の遷音速風洞試験,"令和 3 年度宇宙航行の力学シンポジウム(オンライン, 2021 年 12 月 20 日).

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	非該当
プロセス並列数	512 - 1024
1 ケースあたりの経過時間	8 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.13

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	2,374,626.56	0.12
TOKI-ST	184,966.71	0.23
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	864.02	0.06
TOKI-TST	0.32	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	502.00	0.50
/data 及び/data2	30,380.00	0.32
/ssd	2,630.00	0.68

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	19.80	0.13

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	2,071.46	1.45

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合